

氏名 Apiwatanapiwat Waraporn

学位の種類 博士（生物資源工学）

学位記番号 博 甲 第 8368 号

学位授与年月日 平成 29年 9月 25日

学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当

審査研究科 生命環境科学研究科

学位論文題目 Development of Biofuel and Biomaterial Production Technologies for Cassava Pulp as Starchy and Cellulosic Biomass
(澱粉混在セルロース系バイオマス・キャッサバパルプからのバイオ燃料及びバイオマテリアル生産技術開発)

主査 筑波大学教授（連携大学院） 博士（農芸化学） 小杉 昭彦

副査 筑波大学教授 農学博士 大井 洋

副査 筑波大学教授 博士（農学） 江前 敏晴

副査 筑波大学准教授 博士（農学） 中川 明子

論 文 の 要 旨

東南アジアにおいて、タイ国は早くからガスホール、バイオガス等、再生可能エネルギーの導入を国策として取り組んでおり、バイオマスエネルギー導入先進国である。2014年、タイにおける再生可能エネルギーの状況は、8,476メガワットで全体のエネルギー消費の25%をも占めている。その内訳は、木材、穀類、バガス、農業廃棄物とバイオマス資源の発電エネルギーが高く2,199メガワットで、水熱の3,016メガワットに続き大きなエネルギー需要を支えている。本論文では、第一章において、これらタイ国内のエネルギー事情や再生可能エネルギー状況、また、タイ政府が掲げる2036年へ向けたバイオ技術産業化「Thailand 4.0」政策の中身について概説するとともに、再生可能エネルギー導入における農産廃棄物利用のポテンシャルと、その利用におけるバイオ燃料やバイオマテリアル変換の有効性について解説した。

著者は、農作物残渣の中でも、キャッサバ澱粉の製造工程から排出されるキャッサバパルプ（以下、CP）に焦点を当て、第二章では、はじめにCPを利用したバイオエタノール生産技術について既往の成果を紹介している。CPは澱粉製造時に約50%の澱粉を含んだ繊維質として排出される。その残渣は、一部肥料や家畜飼料への利用が行われているが、大部分は有効利用されず、工場敷地に放置されている。これまでにCP中の澱粉質を利用したバイオエタノール生産技術が開発されているが、繊維と残った澱粉との離脱の悪さや、繊維に含まれるペクチン質の膨潤により澱粉の利用効率が悪い問題があった。そこで、著者は、アンモニア水を用い蒸気爆砕を行うことで、付着している澱粉をほぼ100%利用可能にし、バイオエタノールへ変換可能な前処置技術「アンモニアガス吸着爆砕：Ammonia Gas Absorption Fiber Expansion (AGAFE)」を開発した。著者は、本技術で使用するアンモニアガスはリサイクルされ、また澱粉の利用率を飛躍的に向上させ、酵母の発酵阻害なくエタノール発酵できることを示した。

第三章において、著者は、CP自体やその澱粉を除いた繊維の添加が、嫌気性発酵菌であるクロストリジウム・ブチリカム (*Clostridium butyricum*) による1,3-プロパンジオール（以下、1,3-PD）生産を向上させる効果を見だし、その利用方法を示している。1,3-PDは、溶媒、不凍液、接着剤、化粧品、ポリエステル樹

脂原料など幅広い分野に用いられる化学物質であり、アルデヒド等から化学合成で工業生産される。近年ではより環境低負荷な製造方法として、グリセロールから微生物に還元させる方法が提案されているが、微生物変換では変換効率が悪く、新たな生産菌の探索や遺伝子組換え等による改良が必要となっている。この原因として1,3-PD生合成経路の律速酵素であるdhaB2やdhaTのmRNA発現レベルに検討を加え、グリセロールのみの培養に比較し、CPでは約15倍も高発現することを見だし、CPやCP繊維の添加が、これらの律速酵素の高発現を促し、結果的に1,3-PD生産が向上することを明らかにした。加えて、どのような因子が1,3-PD生産能の律速になるかを検討するために、CPの主成分（澱粉、セルロース、キシラン）の添加に対して検討した結果、キシランにのみ高い1,3-PD生産向上効果が認められた。これらの知見を通じ、*C. butyricum*において、そのパルプ中のキシラン成分が生産効率の上昇に寄与していることを示した。

第四章において、CPのバイオマスポテンシャル及び利用方法を検討するために、CPの糖化及び可溶化に関して検討を加えた。澱粉工場では澱粉抽出後の排水を使ったバイオガス発電を行っており、工場全体の電力をまかなっている重要な再生可能な自活エネルギーである。ところが、澱粉の残存しているCPは、このバイオガス発生原料として魅力的成分であるものの、繊維分が可溶化できないため、いつまでも発酵槽に沈殿してしまい、廃液を投入する容量制限の原因となる。従って、繊維成分がある故、バイオガス製造原料として有望であるにもかかわらず、利用し難いバイオマスとして未利用状態が続いている。そこで、安価に高効率で繊維分を糖化、可溶化させることを目的に、著者は、石垣島バイオコンポストからCPを高効率で糖化、可溶化させる微生物集団を単離した。本集団のメタゲノム解析から3種類の嫌気性微生物が集団中に主に存在することが明らかとなり、その微生物の単離に成功した。また微生物の役割を確認するため、各微生物により再構成させ、再度微生物集団を形成させることを試みた。これらの結果によりどのような微生物が働き、かつ集団として活用できれば高効率に糖化、可溶化できるか実証した。

総括として第二章から四章までで開発した技術に関して、タイ国のこれからの再生可能エネルギー利用促進に関する政策に対する技術的位置づけを行い、開発された技術についての社会実装した際の影響に関して論説している。また今後、バイオマス利用技術に関して、どのような技術が求められるか、技術的障害があるかを解説し、その解決へ向けた提言を行った。

審 査 の 要 旨

本研究は澱粉工場から排出される未利用農作物残渣を題材に、タイ国のバイオエネルギー政策とバイオ産業化政策へ貢献する技術開発として3つの大きな研究開発を行った。

初めに、澱粉工場から排出されるキャッサバパルプの活用として、パルプ中に含まれる澱粉をバイオエタノールへ変換する技術の効率化を実現するため、環境フレンドリーな前処理方法「アンモニアガス吸着爆砕法」によって、バイオエタノール生産収率を向上することを実証した。アンモニアガスをリサイクルすることで、酵母の発酵能に影響しないシステムを構築したことは高く評価できる。

次に、キャッサバパルプやパルプ繊維の添加、活用により、産業上重要な基幹化合物である1,3-プロパンジオールの微生物生産能を飛躍的に高める技術を見いだした。これにより、その生産能向上だけでなく、農産廃棄物であるキャッサバパルプの新たな活用方法を提案したことは高く評価できる。

さらに、より実用的な活用方法として、キャッサバパルプのバイオガス製造への適応を目指し、パルプの糖化・可溶化技術に関して糖化微生物集団の自然界からの単離及びその個々の微生物の役割解明といった基礎から応用につながる研究を行った。これまで澱粉工場において利活用されてこなかったキャッサバパルプに、エネルギー生産原料としての付加価値を与えたことは高く評価できる。

平成29年7月12日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員により合格と判定された。

よって、著者は博士（生物資源工学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。